Aus dem Bezirksspital in Langenthal
(Chefarzt PD. Dr. E. Baumann)

Untersuchungen über die Bedeutung statischer und dynamischer Kräfte für die Pathogenese der Spondylolyse und der Spondylolisthesis

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät
der Universität Bern

vorgelegt von
WALTER HINDERLING
von Basel und Maur (Zch.)

VERLAG P. G. KELLER - WINTERTHUR 1956

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547620_0116

Aus dem Bezirksspital in Langenthal
(Chefarzt PD. Dr. E. Baumann)

Untersuchungen über die Bedeutung statischer und dynamischer Kräfte für die Pathogenese der Spondylolyse und der Spondylolisthesis

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät
der Universität Bern

vorgelegt von
WALTER HINDERLING
von Basel und Maur (Zch.)

VERLAG P. G. KELLER - WINTERTHUR 1956

Von der Medizinischen Fakultät auf Antrag des Herrn Prof. Dr. med. B. Walthard zum Druck als Dissertation genehmigt.

Bern, den 13. Juli 1955.

Der Dekan der Medizinischen Fakultät
Prof. Dr. med. B. Walthard

INHALTSÜBERSICHT

Literaturverzeichnis 5
Allgemeine Gesichtspunkte und Problemstellung 9
Morphologie des Gleitwirbels..... 12
Experimentelle Erzeugung von Wirbelbogenbrüchen und Wirbelgleiten 16
Diskussion 29
Zusammenfassung 43

Meinem hochverehrten Chefarzt

Herrn PD. Dr. E. Baumann,

Chefarzt des Bezirksspitals Langenthal,

danke ich herzlich für seine wertvollen Anregungen und seine wohlwollende Unterstützung meiner Arbeit.

LITERATUR

Azéma, M. A., Le Spondylolisthésis. Thèse. Jouve, Paris 1932.

Baumann, E., Überlastungsschäden und Unfallbegriff. Zeitschr. f. Unfallmedizin und Berufskrankh. 4 (1946) 342.

Baumann, E., Überlastungsschäden und Unfallfolgen im Bereich der Lendenwirbelsäule. Hefte zur Unfallheilkunde, Heft 42, 35 (1951).

Böhler, L., Technik der Knochenbruchbehandlung, Bd. I, 12. und 13. Auflage, Maudrich, Wien 1941.

Bradford und Spurling, Die Bandscheibe. Enke, Stuttgart, 1950.

Brocher, J. E W., Die verkannten Wirbelsäulenverletzungen und Pseudofrakturen der Wirbelsäule. Thieme, Leipzig, 1944.

Brocher, J. E. W., Die Wirbelverschiebungen in der Lendengegend. Thieme, Leipzig, 1951.

Brocher, J. E. W., Spondylolisthesis und Sacralisatio „traumatica". Zeitschrift f. Unfallmed. und Berufskrankh. 3, 187 und 4, 266 (1943).

Burckhardt, Ed., Spondylolisthesis. Schweiz. med. Wschr. 46, 1093 (1940).

Dubois und Zollinger, Unfallmedizin. Huber, Bern, 1945.

Francillon, M. R., Spondylolisthesis und Unfall. Schweiz. med. Wschr. 47, 1256 (1950).

Friberg, S., Studies on Spondylolisthesis. Acta chir. scand. 82, Suppl. 55 (1939).

Gerlach, G., Experimentelle Untersuchungen über symmetrische Frakturen der Wirbelsäule. Arch. f. Orthop. u. Unfallchir. 33, 464 (1933).

Hitchcock, H. H., Spondylolisthesis. Observations in its Development, Progression and Genesis. J. of Bone and Joint Surg. 22, 1 (Jan. 1940).

Junghanns, H., Die anatomischen Besonderheiten des fünften Lendenwirbels und der letzten Bandscheibe. Arch. f. Orthop. und Unfallchir. 33, 260 (1933).

Junghanns, H., Spondylolisthese, Pseudospondylolisthese und Wirbelverschiebung nach hinten. Brun's Beiträge klin. Chir. 151, 376 (1931).

König, P., Experimentelle Untersuchungen zur Frage der traumatischen Entstehung der Spondylolisthesis. Hefte zur Unfallheilkunde, Heft 48, 148 (1955).

Lange, M., Wirbelsäule und Unfall. 7. Vortragsreihe der Augsburger Fortbildungstage für prakt. Medizin.

Larcher, F., Untersuchungen an der embryonalen Wirbelsäule zur Frage der Spondylolisthesis. Schweiz. med. Wschr. 34, 905 (1947).

Liechti, A., Die Röntgendiagnostik der Wirbelsäule. Springer, Wien, 1948.

Lob, A., Die Wirbelsäulenverletzungen und ihre Ausheilung. Thieme, Leipzig, 1941.

Macnab, I., Spondylolisthesis with an intact neural arch the socalled pseudo-spondylolisthesis. J. of Bone and Joint Surg. 32 B, 325 (Aug. 1950).

Meyer-Burgdorff, H., Untersuchungen über das Wirbelgleiten. Thieme, Leipzig, 1931.

Meyer-Burgdorff, H., Untersuchungen zur Ätiologie des Wirbelgleitens. Brun's Beiträge 151, 386 (1931).

Müller, W., Die normale und pathologische Physiologie des Knochens. Barth, Leipzig, 1924.

Müller, W., Pathologische Physiologie der Wirbelsäule. Barth, Leipzig, 1932.

Reischauer, F., Untersuchungen über den lumbalen und cervikalen Bandscheibenvorfall. Thieme, Stuttgart, 1949.

Reischauer, F., Zur Frage der Spondylolysis. Brun's Beiträge klin. Chir. 162, 64, (1935).

Rempe, W., Über sagittale Sakralisationszustände an den unteren Lendenwirbeln und ihre Bedeutung für die Entstehung der Spondylolyse und Spondylolisthesis. Zschr. f. Orthop. und Grenzgeb. 85, 237 (1954).

Roche, M. B., The pathology of neural-arch defects. J. of Bone and Joint Surg. 31 A, 529 (July 1949).

Roche, M. B., Bilateral fracture of the pars interarticularis of a lumbar neural arch. J. of Bone and Joint Surg. 30 A, 1005 (Okt. 1948).

Roche, M. B., Healing of bilateral fracture of the pars interarticularis of a lumbar neural arch. J. of Bone and Joint Surg. 32 A., 428 (April 1950).

Rowe and Roche, The etiology of separate neural arch. J. of Bone and Joint Surg. 35 A, 102 (Jan. 1953).

Schinz und Brandenberger, Momentanbruch und Dauerbruch des Knochens. Spontanfraktur I. und II. Art. Zschr. f. Unfallmed. u. Berufskrankh. 2, 172 (1944).

Schmorl, Ch. G., Über die pathologische Anatomie der Wirbelbandscheiben. Brun's Beiträge klin. Chir. 151, 360 (1931).

Schmorl und Junghanns, Die gesunde und kranke Wirbelsäule in Röntgenbild und Klinik. Thieme, Leipzig, 1951.

De Sèze, S., Huit entretiens sur le rôle du disque intervertébral dans les syndromes douloureux de la charnière lombosacrée. L'expansion, Ed. scient. franç.

Shore, J. R., A report on a specimen of spondylolisthesis found in the skeleton of a Bantu native of south africa. Brit. J. of Surg. 16, 431 (Jan. 1929).

Sicard und Leca, Les spondylolisthésis traumatiques. Presse méd. 42, 914 (1952).

Stewart, T. D., Spondylolisthesis without separate neural arch. J. of Bone and Joint Surg. 17, 640 (July 1935).

Töndury, G., Anatomische Betrachtungen zur Entwicklung des Lendenwirbelsäulen-Kreuzbeingebietes mit besonderer Berücksichtigung der Spondylolisthesis. Hefte zur Unfallheilkunde, Heft 48, 124 (1955).

Turner und Markellow, Die Röntgendiagnostik der Spondylolisthesis im Lichte der experimentellen Forschung am Kadaver. Acta chir. scand. 67, 914 (1930).
Warner, F., Der fünfte Lendenwirbel. Arch. f. Orthop. u. Unfallchir. 33, 279 (1933).
Wertmann, H., Die Überlastungsschäden des Skelettsystems. Huber, Bern, 1948.
Wyss und Ulrich, Festigkeitsuntersuchungen und gezielte Extensionsbehandlung der Lendenwirbelsäule unter Berücksichtigung des Bandscheibenvorfalles. Vierteljahrsschr. der naturforsch. Gesellschaft in Zürich IC (1954). Beiheft 3/4.
Zuckschwerdt, L., Wirbelgelenke und Bandscheibe. Hippokrates, Stuttgart, 1955.

Allgemeine Gesichtspunkte und Problemstellung

Das 1853 von *Kilian* als Spondylolisthesis bezeichnete Wirbelgleiten zeichnet sich durch das Vorliegen von seitlichen, spaltförmigen Defekten im Bogen des abgleitenden Wirbels aus. Diese in den Zwischengelenk-Abschnitten des Wirbelbogens gelegenen Defekte oder Spondylolysen trennen den hinteren Bogenumfang mit dem Dornfortsatz und den unteren Gelenkfortsätzen vom Wirbelkörper und den vorderen Bogenabschnitten ab. Beim Wirbelgleiten bleibt der hintere Anteil des Bogens, der durch die unteren Gelenkfortsätze zurückgehalten wird, an seiner ursprünglichen Stelle liegen, und nur der Wirbelkörper und die vorderen Bogenanteile rutschen auf der Deckplatte des sakralwärts folgenden Nachbarwirbels nach vorne.

Seitliche Bogenspalten im Sinne von Spondylolysen können freilich auch isoliert beobachtet werden und sind nicht immer von einem Wirbelgleiten gefolgt.

Spondylolysen mit oder ohne Wirbelgleiten kommen praktisch nur im Lendenabschnitt der Wirbelsäule vor. Dabei sind die einzelnen Lendenwirbel sehr ungleich beteiligt. An der Spitze steht der 5. Lendenwirbel, der über zwei Drittel aller Fälle auf sich vereinigt *(Brocher, Friberg, Junghanns).* Recht häufig sind auch Defekte am 4. Lendenwirbelbogen, während Lokalisationen an höher gelegenen Wirbeln eher selten zur Beobachtung gelangen. Untersuchungen verschiedener Autoren wie *Neugebauer* (zit. bei *Brocher*) und *Friberg* haben ergeben, dass Spondylolysen durchschnittlich bei etwa 5 % aller Menschen nachweisbar sind. Dieser für die weisse Rasse errechnete erhebliche Prozentsatz wird aber beispielsweise von den Bantunegern (9,1 %, nach *Shore*) und von den Alaska-

Eskimos (nach *Stewart* bei Männern bis zu 40,6 %) wesentlich übertroffen. Auch familiäre Häufung konnte in einzelnen Fällen beobachtet werden (*Friberg* fand bei einer Familie von insgesamt 65 Personen 15mal Spondylolysen, *Rempe* bei 4 von 6 Geschwistern).

Nach pathologisch-anatomischen Untersuchungen scheinen seitliche Spaltbildungen bei Männern und Frauen etwa gleich häufig vorzukommen (*Schmorl* und *Junghanns*). Andere Autoren wie *Friberg* fanden in ihrem klinischen Untersuchungsgut ein Überwiegen des männlichen Geschlechts. Im Kindesalter dürften Spondylolysen seltener sein als bei Erwachsenen. Es ist bemerkenswert, dass bei Neugeborenen bisher wohl überhaupt keine und bei Kleinkindern nur vereinzelte Fälle beobachtet worden sind (*Friberg, Schmorl* u. a.). *Brocher* stellte eine rasche Zunahme der Häufigkeit zwischen dem 5. und 10. Lebensjahr fest und fand im zweiten Dezennium bereits den gleichen Prozentsatz wie bei Erwachsenen. *Rowe* und *Roche* wiesen bei Kindern etwa halb so viel Bogendefekte nach als bei Erwachsenen.

Über die Ätiologie und Pathogenese der Spondylolyse herrscht noch keine Übereinstimmung. Die Ansichten der verschiedenen Autoren weichen teilweise auch heute noch diametral auseinander. Nach Sichtung des einschlägigen Schrifttums lassen sich etwa folgende wichtige Theorien einander gegenüberstellen:

1. Die Spondylolyse ist eine angeborene Fehlbildung (*Friberg, Junghanns, Schmorl, Warner* und v. a.). Wichtige Argumente, die für diese Theorie sprechen, sind das gehäufte Auftreten in einzelnen Familien, die Bevorzugung einzelner Rassen und Beobachtungen von Spondylolysen im Verein mit anderen Fehlbildungen. Über die Art der zugrundeliegenden Fehlbildung muss man sich allerdings bis heute mit Vermutungen begnügen. Die klassische Anschauung, wonach bei der Spondylolyse die Verschmelzung der in jeder Bogenhälfte paarig

angelegten Knochenkerne ausbleiben soll, wurde durch neuere embryologische Untersuchungen von *Larcher* und *Töndury* endgültig widerlegt. Diese Autoren haben nämlich nachweisen können, dass im Wirbelbogen überhaupt keine Knochenkerne auftreten, sondern dass die Verknöcherung perichondral erfolgt. Wenn eine angeborene Fehlbildung als Ursache der Bogendefekte angenommen wird, so lässt sich damit schwer erklären, weshalb solche Defekte beim Neugeborenen noch fehlen und erst im Laufe des Kindesalters auftreten. *Brocher* hat eine Hypothese aufgestellt, welche ein postnatales Auftreten der Schädigung unter dem Einfluss von hereditären Faktoren annimmt. Der Autor spricht von einer abwegigen Disposition (Abiotrophie) oder Dysplasie des Wirbelbogens, wobei die Defekte erst nach einer Latenzperiode nachweisbar werden.

2. Die Bogendefekte entstehen durch zeitlich begrenzte mechanische Einwirkungen. *Sicard* und *Leca* sind der Meinung, dass Spondylolysen, besonders im Kindesalter, leicht durch einmalige Gewalteinwirkung entstehen können. Eine akut traumatische Genese wird auch von *Böhler* u. a. als eine der möglichen Ursachen erkannt. Die Spondylolyse wäre alsdann eine Pseudarthrose. Nach *Hitchcock* entstehen die Spalten perinatal (beispielsweise durch das Geburtstrauma) oder im Kleinkindesalter.

3. Durch übermässigen Leistungsanspruch, der sich über längere Zeitperioden erstrecken kann, entstehen Umbauvorgänge im Bereich des Wirbelbogens. Die Spondylolysen sind Überlastungsschäden, wie sie auch an anderen Stellen des Skelettes angetroffen werden können (*Lane, Meyer-Burgdorff, Reischauer* u. a.). Beobachtungen von Bogenspalten bei Wirbelsäulen, die aussergewöhnlichen Belastungsverhältnissen ausgesetzt sind, sprechen in diesem Sinne. Zwanglos lässt sich erklären, weshalb Bogendefekte beim Neugeborenen vermisst werden und erst mit zunehmendem Alter häufiger auftreten. Weniger leicht sind mit dieser Theorie die familiären Häufungen und die

rassischen Unterschiede vereinbar, wenn auch ein wirklicher Widerspruch nicht besteht.

Wir haben uns die Aufgabe gestellt, die Belastungsverhältnisse am Wirbelbogen theoretisch und experimentell zu untersuchen und die Möglichkeit des Auftretens von Überlastungsschäden zu prüfen. Damit soll versucht werden, einen Beitrag zur Lösung umstrittener Fragen zu leisten.

Morphologie des Gleitwirbels

Das echte Wirbelgleiten zeichnet sich aus durch das Vorliegen von bestimmten Veränderungen an den sogenannten Zwischengelenkstücken der Wirbelbogen (Partes intermediae oder Interartikularportionen).

Unter Zwischengelenkstücken sind diejenigen Bogenabschnitte zu verstehen, welche die oberen Gelenkfortsätze mit den unteren verbinden. Vor diesen Verbindungsstücken liegen der Wirbelkörper und die Bogenwurzeln mit den oberen Gelenkfortsätzen und den Querfortsätzen, hinter ihnen ein Bogenabschnitt mit den unteren Gelenkfortsätzen und dem Dornfortsatz. Die Zwischengelenkstücke sind schmale, in der Regel dreikantförmige Gebilde. Ihre Längsachsen fallen von vorne — oben nach hinten — unten ab und verlaufen gleichzeitig leicht von lateral nach medial. Die unteren Gelenkfortsätze liegen in der Fortsetzung dieser Achsen oder sind leicht caudalwärts dazu abgewinkelt.

Normale Zwischengelenkstücke sind in der Regel sehr kräftig gebaute Bogenabschnitte. Im Vergleich zu den zierlicheren Gelenkfortsätzen spricht *Brocher* von zahnharter Beschaffenheit der Interartikularportionen.

Durch eigene Untersuchungen konnten wir diese Feststellung bestätigen. Wir haben mazerierte Lendenwirbel in

sagittale Scheiben von 2 - 3 mm Dicke aufgesägt und konnten feststellen, dass die Zwischengelenkstücke, im Gegensatz zu den mehr spongiös gebauten Gelenkfortsätzen, eine sehr kompakte Knochenstruktur aufweisen (Abb. 4 und 5). In ihrem Bereich ist die Knochenrinde ausserordentlich dick. Im Zentrum sind oft nur einige kleine Hohlräume zu erkennen, oder es ist überhaupt der ganze Knochenquerschnitt kompakt. Gegen die Gelenkfortsätze zu wird die Knochenrinde dünner und die Kompakta lockert sich zu einem Bälkchenwerk auf. Die einzelnen Bälkchen nehmen dort einen bogenförmigen Verlauf und kreuzen sich in annähernd rechten Winkeln. Im Zwischengelenkstück selbst verlaufen die Fasern in der Achsenrichtung.

Damit übereinstimmend fand *Gerlach* in den Interartikularportionen lamellären kompakten Knochen, der sich von der Kompakta irgend einer anderen Stelle des Skelettes nicht unterscheiden liess. Nach beiden Seiten hin beobachtete er rotes Knochenmark enthaltende Spongiosa.

Bei der Spondylolysis interarticularis weisen die Zwischengelenkstücke spaltförmige Unterbrüche auf. Nach *Schmorl* und *Junghanns* sitzen diese „immer an typischer Stelle in jeder Bogenhälfte kurz hinter der unteren Begrenzung der Gelenkfläche des oberen Gelenkfortsatzes, so dass jederseits das Zwischengelenkstück durch sie in einen kleinen oberen und etwas grösseren unteren Teil zerlegt wird". Auch *Brocher* nennt den vorderen, oberen und kranialen Teil des Zwischengelenkstückes als charakteristische Stelle für die Bogenspalten. Ausnahmsweise könne der Unterbruch auch im mittleren oder hinteren Abschnitt liegen. Defektbildungen ausserhalb der Zwischengelenkstücke dürften mit Ausnahme von Dornfortsatzspalten und breit offenen Bogen (Spina bifida posterior) eher selten sein. Retrosomatische (durch die Bogenwurzel gehende) Spalten sind von *Hammerbeck* und *Ollsen* (zit. bei Brocher) beobachtet worden; retroisthmische (hinter dem Zwischengelenkstück gelegene) Defekte von *Brocher*.

Der Verlauf der Spalten kann variieren und nach *Brocher* „geradlinig, gezackt, geschwungen oder in Gestalt eines weit offenen V gestaltet sein". Nach *Schmorl* sind die knöchernen Begrenzungsflächen der Bogenspalten von feingeriffeltem Aussehen. Histologische Untersuchungen (*Junghanns, Meyer-Burgdorff, Schmorl*) haben ergeben, dass dichtliegendes, straffes Bindegewebe die beiden Knochenenden verbindet und mit Sharpey'schen Fasern tief in den Knochen einstrahlt.

Bei einem Wirbel mit einseitiger Spondylolyse (Abb. 1) konnten wir in den Zwischengelenkstücken einen deutlichen Umbau der Knochenstruktur beobachten. Beide Interartikularportionen dieses Wirbels zeichneten sich durch ihren spongiösen Knochenbau aus und waren nur durch eine dünne Knochenrinde begrenzt. Gegen den spaltförmigen Defekt in der einen Bogenhälfte waren die Bogenteile durch dünne kompakte Knochenplatten abgedeckelt. Histologisch lag in der Gegend der Bogenspalte lamellärer Knochen von regelmässigem Bau vor [1].

Ausser den Spaltbildungen können aber bei Gleitwirbeln noch weitere Veränderungen häufig beobachtet werden, welche teilweise primär mit der Spaltbildung in Zusammenhang stehen, zum grossen Teil wohl aber sekundärer Natur sein dürften.

Ein fast konstanter Befund ist eine Verlängerung der Zwischengelenkstücke. Dabei muss hervorgehoben werden, dass es sich nicht nur um scheinbare Verlängerungen handelt, die durch das Klaffen der Defekte vorgetäuscht würden, sondern um echte Elongationen der knöchernen Anteile.

---

1) Die histologische Untersuchung wurde in besonderer Freundlichkeit von Herrn *Prof. Dr. med. B. Walthard* (Pathologisches Institut der Universität Bern) durchgeführt. Die Beobachtung, dass im Bereich der Bogenspalte lamellärer Knochen vorliegt, deutet darauf hin, dass es sich um einen abgeschlossenen Prozess handelt, indem sich funktionstüchtiger Knochen gebildet hat.

In engem Zusammenhang mit der Verlängerung der Zwischengelenkstücke steht eine Abflachung derselben, was auch in der Vergrösserung des sogenannten Bogenwinkels zum Ausdruck kommt. Dieser ist nach *Junghanns* gegeben durch die Achsen der Bogenwurzel und des Proc. art. inf. Er beträgt für den fünften Lendenwirbel im Mittel 113 ° (*Burckhardt*). Bei Spondylolisthesis fand *Burckhardt* einen durchschnittlichen Bogenwinkel von 131 °.

Zwischengelenkstücke können aber auch verlängert sein, ohne dass eine Spalte vorzuliegen braucht. Dann kann die Verlängerung allein zu einer Wirbelverschiebung nach vorne führen. Dieser Vorgang ist nach *Brocher* mit der „echten" Spondylolisthesis mit Spondylolyse verwandt. *De Sèze* spricht alsdann von „Spondylolisthésis par affaissement-allongement" und betrachtet die Veränderungen als Folgen statischer Einflüsse oder osteomalazischer Prozesse. Eine weitere Entstehungsmöglichkeit von solchen Zwischengelenkstückverlängerungen ohne Spalten besteht darin, dass ein Bogendefekt durch Knochenneubildung ausheilt, d. h. sekundär wieder knöchern überbrückt wird.

Von diesen Formen des Wirbelgleitens, die mit Verlängerung der Zwischengelenkstücke mit oder ohne Spondylolysen einhergehen, ist die Pseudospondylolisthesis (*Junghanns*) abzugrenzen, welche in ihrer reinen Form eine Wirbelverschiebung nach vorne ohne Veränderung der Zwischengelenkstücke darstellt. Ihre Kennzeichen sind nach *Junghanns* Schiefstellung der kleinen Wirbelgelenke (deren Gelenkflächen sich der Horizontalebene nähern) und Arthrosis deformans derselben. Die kleinen Gelenke befinden sich alsdann nach *Macnab* in Subluxationsstellung. Ursächlich kommt angeborene Fehlstellung der kleinen Wirbelgelenke in Frage, aber auch sekundäre Umformung als Folge der Arthrosis deformans. Pseudospondylolisthesen gelangen am 4. Lendenwirbel am häufigsten zur Beobachtung (*Brocher, Junghanns, Macnab*).

Das Schrifttum ist in bezug auf die Zuordnung und Bezeichnung dieser verschiedenen Arten von Wirbelverschiebungen nach vorn recht verwirrlich. Wir erachten es als angebracht, an der Einteilung in die eben erwähnten drei Formen festzuhalten und zu unterscheiden zwischen

1. der mit Spaltbildungen einhergehenden eigentlichen Spondylolisthesis,
2. der Wirbelverschiebung nach vorn durch Elongation der Zwischengelenkstücke, aber ohne Spalten und
3. der sogenannten Pseudospondylolisthesis, die sich durch Flachstellung der kleinen Wirbelgelenke bei unveränderten Interartikularportionen auszeichnet.

Auf die engen verwandtschaftlichen Beziehungen dieser verschiedenen Formen weist das häufige gemeinsame Vorkommen hin. So konnten wir beispielsweise an einem einzigen Wirbel auf einer Seite eine Elongation des Zwischengelenkstückes feststellen und auf der anderen Seite ausser der Elongation auch noch eine Spondylolyse (Abb. 2). Es können sich aber auch Schiefstellungen der kleinen Artikulationen mit Veränderungen in den Interartikularportionen vergesellschaften.

Experimentelle Erzeugung von Wirbelbogenbrüchen und Wirbelgleiten

In der Bestrebung, die Belastungsverhältnisse am Wirbelbogen zu überprüfen, haben wir den Versuch unternommen, an der Leichenwirbelsäule künstliche Bogenfrakturen zu erzeugen und den Mechanismus des Wirbelgleitens nachzuahmen. Bei der Durchsicht des Schrifttums zeigte sich, dass schon zur Zeit der ersten Beschreibungen der Spondylolisthesis vor rund einem Jahrhundert ähnliche Experimente ausgeführt worden sind. Einige ältere Arbeiten (*Chiari* und *Hellner, Königstein, Robert*) sind bei *Meyer-Burgdorff* zusammengestellt.

Robert gelang es, durch geringen Druck ein Wirbelgleiten zu erzeugen, wenn er vorher sowohl den Wirbelbogen als auch die Bandscheibe durchtrennte. Ohne vorherige Durchtrennung dieser Teile liess sich der Wirbel nicht verschieben. Zum selben Resultat gelangte *Königstein*, der durch manuellen Druck auf den Kopf die ganze Wirbelsäule längs komprimierte. *Chiari* und *Hellner* konnten durch direkte Gewalteinwirkung, selbst nach Bogenentfernung, kein Wirbelgleiten hervorrufen.

1930 veröffentlichten *Turner* und *Markellow* die Ergebnisse ihrer Versuche. An Leichenwirbelsäulen führten sie mit einem schweren Gegenstand Schläge gegen die Gegend des untersten Lendenwirbelbogens aus. Die auf diese Weise erzeugten Bogenbrüche waren aber stets mit Dornfortsatz- und manchmal sogar mit Wirbelkörperfrakturen vergesellschaftet. Auch durch forcierte Beugung oder Überstreckung der Wirbelsäule liessen sich keine isolierten Bogenbrüche hervorrufen. Erst, wenn der Wirbelbogen zuvor bis auf eine dünne Kortikalisschicht abgetragen und so künstlich geschwächt worden war, führten sowohl direktes Trauma als auch gewaltsame Überstreckung zum Ziel. Ein Gleiten des fünften Lendenwirbels konnten die Autoren durch Hyperextension bei gleichzeitiger Belastung in Gang bringen, wenn folgende Bedingungen erfüllt waren:

1. teilweise Durchtrennung der beiden untersten Bandscheiben und
2. künstliche Schwächung des fünften Lendenwirbelbogens.

Zwei Jahre später versuchte *Azéma* an isolierten Wirbeln Bogenbrüche zu setzen. Zu diesem Zweck fixierte er die Lendenwirbelkörper und zog an den Spitzen der Dornfortsätze kräftig nach oben. Die Wirbel brachen entweder im Dornfortsatz oder im hinteren Drittel des Wirbelkörpers, jedoch nie im Zwischengelenkstück. Erst nach Abschwächung der Interartikularportionen auf ein Drittel ihrer ursprünglichen Stärke brach der Wirbel an dieser Stelle. Durch direkte Schläge gegen das Lumbalskelett konnte derselbe Autor keine isolierten Bogenfrakturen erzeugen.

Gerlach prüfte 1933 die Abriss- und Abscherfestigkeit im Zwischengelenkstück bei Flexion und Extension der Lendenwirbelsäule. Selbst unter Anwendung grösster Gewalten entstanden an dieser Stelle keine Frakturen.

Bei keinem dieser Versuche ist es gelungen, an den Zwischengelenkstücken der Lendenwirbel isolierte Frakturen zu erzeugen, weder durch direkte noch durch indirekte Gewalteinwirkung. Nicht einmal am isolierten Wirbel liessen sich die Interartikularportionen brechen. Erst nach Schwächung bis auf ein Drittel der ursprünglichen Stärke konnten „Restbrüche" erzielt werden.

Für das Zustandekommen eines Wirbelgleitens musste vorausgehend ausser dem Wirbelbogen auch die Bandscheibe künstlich beschädigt werden.

Material und Technik

Unsere Versuche konnten alle an menschlichen Wirbelsäulen durchgeführt werden. Die schonungsvoll gewonnenen, aus Kreuzbein und Lendenwirbelsäule bestehenden Präparate wurden zunächst röntgenologisch durchuntersucht (anterioposteriore, seitliche und teilweise schräge Aufnahmen) und darauf mehrere Tage bis wenige Wochen in Formol aufbewahrt.

Um die Lendenwirbelsäule in craniocaudaler Richtung wirkungsvoll mechanisch beeinflussen zu können, musste das Kreuzbein starr fixiert werden. Dabei stellten sich zahlreiche Schwierigkeiten technischer Art ein. Gipsfixationen erwiesen sich als zu schwach. Eisen- und Holzklammern versagten, weil stets die ungleichmässig gefassten Teile des Kreuzbeins einbrachen, bevor im Bereich der untersten Lendenwirbel überhaupt Brüche entstanden. Schliesslich konnte aber in Form einer Eisenbetonfassung, welche das Kreuzbein allseitig und schonend fixierte, ein geeignetes Verfahren gefunden werden. Es wurde

darauf geachtet, dass die ganze Lendenwirbelsäule bis und mit der lumbosakralen Bandscheibe frei blieb und dass ein Abgleiten des fünften Lendenwirbels nach vorne und unten nicht behindert werden konnte. Bei der Einbettung des Kreuzbeins wurde die Längsachse der Lendenwirbelsäule lotrecht gestellt (Abb. 8).

Die Kompression erfolgte beim ersten Versuch durch Schlag mit einem schweren Hammer in craniocaudaler Richtung. Diese Gewalteinwirkung war allerdings sehr massiv und schlecht kontrollierbar. Es musste deshalb für die weiteren Versuche ein geeigneteres Verfahren gesucht werden. Eine manuell steuerbare Friktionsspindelpresse erfüllte die gestellten Anforderungen. Die Kompression konnte so lange gesteigert werden, bis ein knackendes Geräusch die Frakturentstehung anzeigte.

Die Auswertung erfolgte zunächst wiederum durch röntgenologische Untersuchung des vom Betonsockel befreiten Präparates. Darauf wurde die Wirbelsäule der Maceration unterworfen und die Wirbel makroskopisch auf Knochenbruchmerkmale untersucht. Einzelne Wirbel wurden zudem zur Kontrolle des Bruchlinienverlaufes in 2 - 3 mm dicke sagittale Scheiben zerschnitten.

Bei weiteren Versuchen wurden die Wirbelsäulen rhythmischer Dauerbeanspruchung durch repetierte Stösse ausgesetzt. Die dazu nötigen Einrichtungen hat uns verdankenswerterweise die Eidgenössische Materialprüfungsanstalt in Zürich (Prof. Wyss) zur Verfügung gestellt. Leider konnten aber diese Versuche technisch nicht befriedigend durchgeführt werden und lieferten bisher keine verwertbaren Resultate.

Beschreibung der Versuche

Versuch I (Abb. 3 und Abb. 4).
20jährig, männlich.
Röntgenologisch normales Lendenwirbelsäulenpräparat.

In der Bestrebung, das Wirbelgleiten zu erleichtern, wurde die lumbosakrale Bandscheibe entfernt und durch eine passende, annähernd planparallele und mit Schmierseife gleitfähig gemachte Eisenplatte ersetzt. Kompression der Wirbelsäule in ihrer Längsachse durch Hammerschlag.

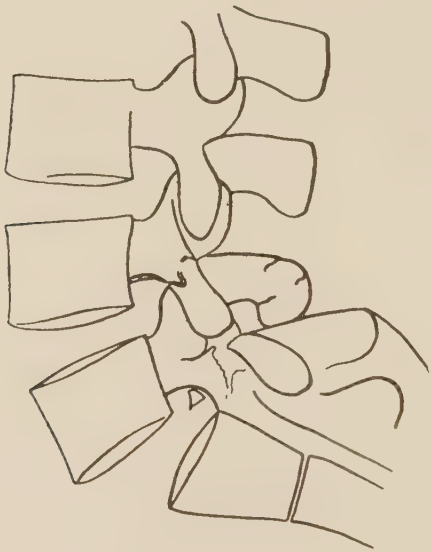

Abbildung 3 [1].

Versuch I. Belastung nach Entfernung der Lumbosakralscheibe. Wirbelgleiten L_5 und Gewaltbruch an den Zwischengelenkstücken von L_4.

1) Die Originalbilder sind leider für den Druck nicht geeignet. Es wird deshalb auf eine Wiedergabe verzichtet. Die Filme werden jedoch sorgfältig aufbewahrt.

Die oberen Lendenwirbel sind unversehrt geblieben. Bei L_4 gehen quere Bruchlinien durch beide Zwischengelenkstücke hindurch; ausserdem ist der Dornfortsatz an mehreren Stellen gebrochen. Der Wirbel ist nicht verschoben. Der 5. Lendenwirbel ist in den Zwischengelenkstücken gebrochen. Sein vorderer Anteil ist, genau wie es bei der Spondylolisthesis der Fall ist, nach vorne verschoben worden. Die Gleitstrecke beträgt 1 cm. Der hintere Bogenumfang hat an der Verschiebung nicht teilgenommen. Ausser im Zwischengelenkstück weist die linke Bogenhälfte auch im retroisthmischen Bogenabschnitt und im oberen Gelenkfortsatz Frakturlinien auf. Die beiden Gelenkfortsätze des Sakrums sind ebenfalls abgebrochen.

Versuch II.

10jähriges Mädchen.

Röntgenologisch normale kindliche Lendenwirbelsäule.

Excision der lumbosakralen Bandscheibe. Kompression in der Längsachse der Lendenwirbelsäule mit der Spindelpresse bis zur Entstehung eines Gewaltbruches.

An den Lendenwirbeln L_1 - L_4 und am Sakrum keine Verletzungsmerkmale. Auf der rechten Seite des 5. Lendenwirbelbogens durchsetzt eine Frakturlinie den Querfortsatz, den oberen Gelenkfortsatz und die Bogenwurzel. Links geht ein Querbruch durch den vordersten Teil des Zwischengelenkstückes und eine weitere Frakturlinie durch Zwischengelenkstück und unteren Gelenkfortsatz. Der Wirbelbogen ist vom Körper vollständig abgetrennt. Eine Wirbelverschiebung hat sich nicht eingestellt.

Röntgenologisch war nur am linken Zwischengelenkstück eine querverlaufende Frakturlinie zu sehen. Die rechtsseitige Bogenfraktur wurde auch in den Schrägaufnahmen nicht erkannt [1].

Versuch III. (Abb. 5)

50jährig, männlich.

Stark verschmälerte Bandscheibe L_4/L_5.

Gleiches Vorgehen wie bei Versuch II.

Keine Verletzungsmerkmale an den oberen Lendenwirbeln und am Kreuzbein. Stückbruch des 5. Lendenwirbelbogens, wobei rechts eine Frakturlinie mitten durch das Zwischengelenkstück, eine zweite durch Bogenwurzel und Querfortsatz zieht. Das linke Zwischengelenkstück ist etwas weiter hinten gebrochen, wobei die Gelenkfacette des unteren Gelenkfortsatzes ebenfalls mit abgebrochen ist. Auch auf der linken Seite verläuft eine zweite Frakturlinie durch Bogenwurzel und Querfortsatz.

Keine Wirbelverschiebung.

Versuch IV.

44jährig, männlich.

Deutlich eingedellte Grund- und Deckplatten.

Durchtrennung der lumbosakralen Bandscheibe ohne Excision. Im übrigen gleiches Vorgehen wie bei den beiden vorangehenden Versuchen.

Die oberen Lendenwirbel und das Sakrum sind nicht beschädigt. L_4 weist im Gebiet der Bogenwurzeln Frakturen auf. Rechts geht ein Bruch durch Bogenwurzel und Querfortsatz. Links ist die Bogenwurzel aus dem Wirbelkörper heraus-

---

1) Die Diskrepanz zwischen den oft ausgedehnten Verletzungen und den diskreten, bisweilen kaum erkennbaren Frakturzeichen im Röntgenbild hat uns mehrmals überrascht. Trotz Aufnahmen in mehreren Richtungen können Wirbelbogenbrüche, selbst am Präparat, dem röntgenologischen Nachweis leicht entgehen. Dass dasselbe auch für die Wirbelkörper zutrifft, hat *Baumann* nachgewiesen.

Ein Röntgenbild ohne Verletzungszeichen beweist also keineswegs sicher das Fehlen von Wirbelbrüchen. Solche Aufnahmen besitzen aber dokumentarischen Wert.

gerissen. Der Bogen von L_5 ist vollständig vom Wirbelkörper abgetrennt. Fast symmetrische Frakturen verlaufen durch Bogenwurzeln und Querfortsätze. Der Körper von L_5 ist um 2 mm nach vorne verschoben. Durch geringen manuellen Druck lässt sich aber die Gleitstrecke leicht vergrössern.

Versuch V. (Abb. 6 und Abb. 7)

21jährig, weiblich.
Grazile Wirbelsäule.
Gleiches Vorgehen wie beim Versuch IV.

Keine Verletzungen an den oberen Lendenwirbeln und am Kreuzbein. Bei L_4 symmetrische, quere Frakturen mitten durch die Interartikularportionen. Abbruch beider Bogenwurzeln bei L_5. Der 5. Lendenwirbelkörper ist um 2 mm nach vorne verschoben.

Versuch VI.

63jährig, weiblich.
Grazile Wirbelsäule mit mässiger Osteochondrose. Verschmälerung der lumbosakralen Bandscheibe.

Diesmal wurde nicht die lumbosakrale Bandscheibe, sondern die Zwischenwirbelscheibe L_4/L_5 durchtrennt. Sonst gleiches Vorgehen wie bei den vorangehenden Versuchen.

Verletzungsmerkmale sind an den Wirbeln L_3, L_4 und L_5 zu erkennen. Bei L_3 geht jederseits eine Frakturlinie durch die Bogenwurzel. Der 4. Lendenwirbelkörper ist in den Bogenwurzeln vollständig vom Bogen abgetrennt und um 7 mm nach vorne gerückt. Ausserdem verläuft auf der rechten Seite eine Fraktur durch den hinteren Abschnitt des Zwischengelenkstückes und den unteren Gelenkfortsatz. Bei L_5 ist nur ein Segment des rechten oberen Gelenkfortsatzes abgebrochen.

Abbildung 6.

Versuch V. Belastungsversuch nach Durchtrennung der lumbosakralen Bandscheibe. Auf den Schrägaufnahmen sind die Gewaltbrüche durch die Zwischengelenkstücke von L_4 sichtbar (signe du petit chien décapité), hingegen stellten sich die Verletzungen am 5. Lendenwirbel hier nicht dar.

Versuch VII.

52jährig, männlich.

Leichte Osteochondrose.

Ohne vorangehende Bandscheibenbeschädigung wurde das Präparat gleich wie bei den anderen Versuchen in der Achsenrichtung der Lendenwirbelsäule bis zum Auftreten von knakkenden Geräuschen gestaucht. Der Widerstand war sehr viel grösser als bei den früheren Versuchen.

Der oberste Wirbel des Präparates, L_2, erlitt eine Kompressionsfraktur. Der Wirbelkörper ist auf $^2/_3$ seiner ursprüng-

lichen Höhe erniedrigt. Seine Grundplatte ist vollständig zertrümmert. Ferner sind beide Bogenwurzeln abgebrochen. L_3 erlitt multiple Dornfortsatzfrakturen und Abbrüche an den oberen Gelenkfortsätzen. L_4 weist keine Verletzungsmerkmale auf. Bei L_5 geht eine Frakturlinie durch den Wirbelkörper. Eine Dislokation hat nicht stattgefunden. Das Sakrum ist nicht verletzt.

Versuch VIII.

76jährig, männlich.

Leichte Skoliose der Lendenwirbelsäule mit asymmetrisch sakralisiertem fünften Lendenwirbel. Starke Osteochondrose mit Erniedrigung der drei untersten Zwischenwirbelräume.

Gleiches Vorgehen wie bei Versuch VII, d. h. ohne Beschädigung einer Bandscheibe. Wiederum sehr grosser Kompressionswiderstand.

Kompressionsfraktur von L_1 mit keilförmiger Deformierung. Einstauchung der ganzen Deckplatte. Auf der rechten Seite setzt sich eine Frakturlinie in die Bogenwurzel hinein fort. Alle übrigen Lendenwirbel und das Kreuzbein sind unverletzt.

Zusammenfassung der Versuchsergebnisse

Bei einer neu ausgearbeiteten Versuchsanordnung wurden Kreuzbein-Lendenwirbelsäulenpräparate einer kräftigen Längskompression ausgesetzt. Die Gewalteinwirkung erfolgte in 5 Fällen nach vorangehender Entfernung oder Durchtrennung der Lumbosakralscheibe, einmal nach Durchtrennung der Bandscheibe L_4/L_5 und in zwei Fällen ohne vorherige Bandscheibenbeschädigung. Am Skelett sind folgende Verletzungen entstanden:

1. Bei Längsstauchung der Lendenwirbelsäule nach Durchtrennung oder Entfernung der lumbosakralen Bandscheibe sind regelmässig Gewaltbrüche an den Wirbelbogen des fünften oder des fünften und vierten Lendenwirbels aufgetreten. Dreimal ist der fünfte Lendenwirbel im Sinne eines experimentellen, akut traumatischen Wirbelgleitens nach vorne verschoben worden.
2. Nach Durchtrennung der Zwischenwirbelscheibe L_4/L_5 hat die Kompression der Lendenwirbelsäule zu Brüchen des vierten und des dritten Lendenwirbelbogens geführt. Dabei ist der vierte Lendenwirbelkörper nach vorne gerutscht.
3. Bei Kompression der Lendenwirbelsäule ohne Vorbehandlung des Präparates, also bei unbeschädigten Zwischenwirbelscheiben, sind an den unteren Lendenwirbelbogen überhaupt keine Verletzungen entstanden; es sind auch keine Wirbelverschiebungen aufgetreten. Dagegen haben sich ausgedehnte Wirbelverletzungen mit Kompressionsfrakturen der Wirbelkörper eingestellt.

Bei den nach Bandscheibenbeschädigung erzeugten Bogenbrüchen konnten mehrere Typen unterschieden werden, nämlich Frakturen der Zwischengelenkstücke, der Bogenwurzeln, der Gelenkfortsätze und der Dornfortsätze. Diese verschiedenen Typen sind jedoch mehrfach auch in Kombination aufgetreten. Bei den Zwischengelenkstückbrüchen konnte kein regelmässiger Verlauf der Bruchlinien festgestellt werden. Die Bruchflächen durchsetzten die Bogenabschnitte ohne erkennbare Gesetzmässigkeit in bezug auf Lokalisation oder Verlaufsform. Eine bestimmte Beziehung zwischen Frakturverlauf und Verteilung von kompaktem und spongiösem Knochen konnte nicht nachgewiesen werden.

Die unterschiedlichen Resultate bei den einzelnen Versuchsgruppen haben gezeigt, dass für die Entstehung von Gewaltbrüchen an den Lendenwirbelbogen bei der von uns getroffenen Versuchsanordnung der Zustand der Bandscheiben von

ausschlaggebender Bedeutung ist. Bei starker Beschädigung einer Zwischenwirbelscheibe wird das betreffende Bewegungssegment (*Junghanns*) zu einem locus minoris resistentiae.

In Abbildung 8 wird die Wirkung der Kompression auf die Wirbelbogen (Zwischengelenkstücke) schematisch dargestellt. Die am Wirbelbogen auftretenden Schubkräfte können sich nach dem Bandscheibenausfall unbehindert auswirken. Statt dass, wie es bei erhaltenen Disken der Fall ist, in der Regel Kompressionsbrüche an den Wirbelkörpern eintreten, bricht nun der Wirbelbogen in den Zwischengelenkstücken, den Bogenwurzeln oder Gelenkfortsätzen.

Ist durch den Bruchvorgang die wirkende mechanische Kraft noch nicht erschöpft, so gleitet der seiner Aufhängung beraubte Wirbelkörper auf der schiefen Deckplatte des nächst unteren Wirbels nach vorne und unten ab.

Im Gegensatz zu den eingangs erwähnten Autoren ist es uns bei der beschriebenen Versuchsanordnung geglückt, an den untersten Lendenwirbeln Zwischengelenkstückbrüche und auch experimentelles Wirbelgleiten ohne vorangehende künstliche Schwächung der Interartikularportionen zu erzielen. Bemerkenswerterweise konnten wir jedoch die Wirbelbogen nur beeinträchtigen, wenn wir vorher eine Bandscheibe durchtrennten.

Neulich hat *König* ähnliche Versuche beschrieben, wobei er Lendenwirbelsäule-Kreuzbeinpräparate rhythmischer Dauerbelastung aussetzte. Nach Durchschneidung der Zwischenwirbelscheibe bis auf geringe Reste konnte er so am Übergang zwischen Interartikularportionen und Gelenkfortsätzen die Entstehung von Trennungszonen beobachten, welche sich weiter in die Wurzeln der Querfortsätze und in die Laminae hinein fortsetzten. Seine Resultate stimmen also mit den unsrigen weitgehend überein.

Sowohl durch einmalige Gewalteinwirkung als durch rhythmische Dauerbeanspruchung können die Wirbelbogen im Ex-

periment ähnlich beeinflusst werden. Die wichtige Bedeutung der Zwischenwirbelscheiben bei der Bruchentstehung im Wirbelbogen kommt bei beiden Versuchsanordnungen in gleicher Weise zum Ausdruck.

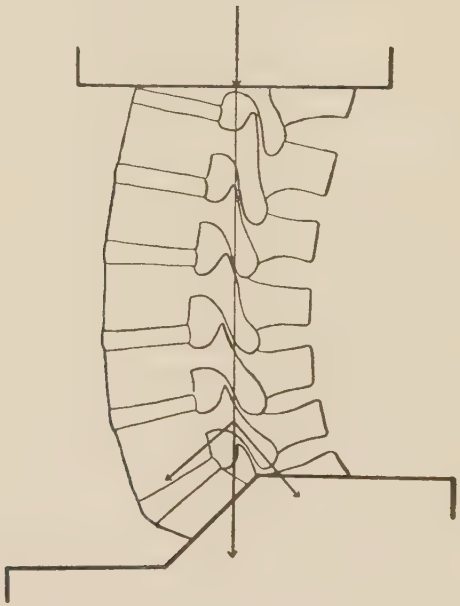

Abbildung 8.

Versuchsanordnung zur Erzeugung von Gewaltbrüchen an der Lendenwirbelsäule durch Längskompression. Das Kreuzbein ist in einer Betonfassung fixiert.

Schematische Darstellung der Kraftwirkung in den Zwischengelenkstücken des 5. Lendenwirbels. Aufteilung nach dem Kräfteparallelogramm in eine „Druckkomponente", die das Zwischengelenkstück in seiner Längsachse beansprucht und in eine „Schubkomponente", die senkrecht zu dieser Achse und ungefähr parallel zur Deckplatte des Kreuzbeins wirkt.

Diskussion

Nachdem es im Experiment gelungen ist, isoliert an den Wirbelbogen und besonders auch an deren Zwischengelenkstücken Gewaltbrüche zu erzeugen, ist die Frage zu prüfen, ob durch vergleichbare Krafteinwirkung auch beim Lebenden Bogenbrüche entstehen können, und unter welchen Bedingungen solche Brüche zu erwarten sind. Dabei ist zu berücksichtigen, dass in vivo nicht nur akut traumatische Geschehen für die Bruchentstehung in Frage stehen, sondern dass auch mechanische Einwirkungen, die sich über längere Zeitspannen hindurch erstrecken, die Wirbelbogen im Sinne einer chronischen Überlastung beeinflussen können.

Ferner muss die Frage erörtert werden, ob solche akute oder andauernde Krafteinwirkungen zu den Zuständen führen können, die uns als Spondylolyse resp. Spondylolisthesis bekannt sind.

Gewaltbruch im Zwischengelenkstück und traumatisches Wirbelgleiten

Lob sah Bogen- und Fortsatzbrüche im Verein mit Wirbelkörperfrakturen, Bandscheibenverletzungen, Zerreissungen von Bändern und von Muskulatur usw., also bei ausgedehnten Verletzungen, die er als „vollausgebildete Wirbelsäulenverletzungen" bezeichnete. Dagegen hat er bemerkenswerterweise keinen einzigen isolierten Bruch eines Wirbelbogens oder eines Gelenkfortsatzes beobachten können. Ähnlich äusserte sich auch *Böhler* zum Vorkommen von Bogenbrüchen. Dass aber doch in einzelnen Fällen isolierte Verletzungen der Wirbelbogen vorkommen können, hat *Roche* in einer Beobachtung von doppelseitigen Zwischengelenkstückbrüchen des dritten Lendenwirbels nachgewiesen. Nach *Sicard* und *Leca*, die selbst zwei-

mal solche Frakturen bei Kindern hatten beobachten können, sind Brüche der Interartikularportionen sogar sehr häufig und können schon durch sehr kleine Traumen hervorgerufen werden, so dass sie häufig gar nicht erkannt werden.

Bei den an den untersten Brustwirbeln und an der Lendenwirbelsäule auftretenden Bogen- und Gelenkbrüchen konnte *Lob* folgende Formen unterscheiden: „1. Brüche der Zwischengelenkabschnitte des gebrochenen Wirbels entweder ein- oder doppelseitig. Bei einseitigen Zwischengelenkabschnittbrüchen kann die andere Seite eine Verrenkung der Gelenke aufweisen. Es kommt zum Klaffen zwischen den Dornfortsätzen des gebrochenen und des nächst höheren Wirbels. 2. Brüche der Bogenwurzeln. Die Bruchlinien laufen schräg vom Wirbelkörper unten in die Bogenwurzel nach oben und hinten hinein. Dabei können sie auch die Zwischengelenkstücke durchsetzen, ja sie völlig durchtrennen. 3. Brüche, die von oben aus dem Wirbelkörper kommen und nach hinten unten in die Bogenwurzel verlaufen. Oft ziehen diese Bruchlinien auch in den Dornfortsatz des gebrochenen Wirbels hinein und können Stücke desselben abtrennen."

Es sind für das Zustandekommen von Bogenverletzungen verschiedene Ursachen denkbar. Nach *Brocher* ist es nicht annehmbar, dass ein isolierter Bogenbruch durch einen indirekten Unfallmechanismus entstehen kann. Es müsse ein erhebliches direktes Trauma vorliegen. *Böhler* hat verschiedene Mechanismen für die Bruchentstehung verantwortlich gemacht, nämlich Abscherung durch schräg von hinten nach vorn oder senkrecht zur Wirbelsäulenachse einwirkende Gewalten, Biegung mit gleichzeitiger Schubwirkung nach vorne und schliesslich gewaltsame Überstreckung der Wirbelsäule. Besondere Bedeutung mass er den Gewalteinwirkungen zu, die schräg von hinten oben in Richtung einer Zwischenwirbelscheibe erfolgten; denn dabei müsse die Interartikularportion den ganzen Stoss aufhalten. Bei genügender Gewalt komme es unter gleichzeitiger

Zerreissung der Zwischenwirbelscheibe zu einem Bruch an dieser Stelle und zu einem Vorgleiten des Wirbels. Auch nach *Junghanns* sind Wirbelbogenbrüche fast regelmässig mit Verletzungen der entsprechenden Bandscheibe verbunden: „Die Schubkräfte oder Distraktionswirkungen, die zu Bogenbrüchen führen, bringen eine begleitende Verletzung des Zwischenwirbelscheibengewebes mit sich, weil die Elastizität des Fasergewebes diesen Kräften nicht gewachsen ist."

Die Heilung von Bogenbrüchen geht nach *Lob* verhältnismässig langsam vor sich. Bei Brüchen der Zwischengelenkabschnitte tritt nicht selten knöcherne Heilung ein. Es können aber auch Pseudarthrosen entstehen. Wenn eine Dislokation stattgefunden hat, so kommt bei der knöchernen Heilung eine Verlängerung der Zwischengelenkstücke zustande.

Die Beobachtung von *Roche* über doppelseitige Zwischengelenkstückbrüche bei einem 3. Lendenwirbel scheint uns besonders wertvoll zu sein, weil der Heilungsverlauf sorgfältig belegt wird. Es trat in diesem Fall innerhalb weniger Monate eine knöcherne Heilung ein.

Es unterliegt demnach keinem Zweifel, dass Bogenbrüche im Bereich der Zwischengelenkabschnitte, insbesondere an der unteren Brust- und an der Lendenwirbelsäule, relativ häufig vorkommen, dass sie aber selten isoliert, sondern in der Regel kombiniert mit anderen Wirbelsäulenverletzungen auftreten. Sie können durch verschiedenartige direkte und indirekte Gewalteinwirkungen verursacht werden, wobei jedoch meist Schubkräfte für die Bruchentstehung verantwortlich sein dürften.

Die Feststellungen von *Böhler* und von *Junghanns*, wonach eine Bandscheibenzerreissung zu solchen Bogenverletzungen gehört, ist im Zusammenhang mit der experimentellen Bogenbrucherzeugung von besonderem Interesse. Gestützt auf unsere Belastungsversuche darf sogar angenommen werden, dass der Wirbelbogen in der Regel zur Hauptsache erst in Mitleidenschaft gezogen wird, wenn die betreffende Zwischenwirbel-

scheibe bereits so schwer akut oder chronisch beschädigt ist, dass sich das Bewegungssegment (*Junghanns*) gelockert hat. Es ist wahrscheinlich, dass bei den scheinbar isolierten Bogenbrüchen meist doch auch eine Bandscheibenschädigung vorliegt, was sich natürlich röntgenologisch nicht oder höchstens durch indirekte Zeichen nachweisen lässt. Vielleicht ist die Erklärung für das seltene Auftreten von isolierten Bogenbrüchen in der grossen Widerstandskraft der Zwischenwirbelscheiben zu suchen.

Man geht kaum fehl, wenn man dem Gewaltbruch nicht eine grosse Bedeutung für die Entstehung der Spondylolyse beimisst. In der Regel dürfte knöcherne Heilung zu erwarten sein. Vereinzelt mögen an den Zwischengelenkstücken Pseudarthrosen entstehen, welche dann, wie bei den beiden Beobachtungen von *Sicard* und *Leca*, zum klassischen Bild der Spondylolyse mit oder ohne Wirbelgleiten führen können.

Akut traumatisches Wirbelgleiten kann bei vollausgebildeten Wirbelsäulenverletzungen nach schwerer Gewalteinwirkung primär auftreten. Dazu ist ausser einem Bogenbruch auch eine Mitverletzung der betreffenden Zwischenwirbelscheibe notwendig.

Ausserdem besteht aber auch die Möglichkeit, dass durch das Trauma ein Wirbel beeinträchtigt wird, dessen Bogen bereits vorbestehende Defekte in den Interartikularportionen aufweist. Dabei kann unter Umständen ein Gleitprozess eingeleitet, oder, falls der Wirbelkörper bereits nach vorne gerutscht ist, verstärkt werden. Ein schlagartig auftretendes Gleiten konnte allerdings bisher nur vereinzelt beobachtet werden (*Francillon*). Hingegen geht aus der klinischen Erfahrung zahlreicher Autoren (*Brocher, Dubois* und *Zollinger, Francillon, Meyer-Burgdorff* u. a.) hervor, dass sich beim Vorliegen einer Spondylolisthesis durch das Hinzutreten eines Unfalles eine, allerdings meist vorübergehende, Verschlimmerung des Leidens einstellen kann.

Verschiedene ältere und neuere Autoren, worunter *Meyer-Burgdorff* und *Reischauer*, vertreten die Ansicht, dass Spondylolysen allmählich, unter der Wirkung dauernder mechanischer Überlastung entstehen können und rechnen daher die so erworbenen Defekte an den Zwischengelenkstücken zu den chronischen Überlastungsschäden des Skelettes.

Werthmann versteht unter Überlastungsschäden „krankhafte Veränderungen des sonst gesunden menschlichen Skelettsystems, wenn es unter übersteigerte Funktion gesetzt wird. Bei solcher Beanspruchung bilden sich Krankheitsbilder aus als Folge der funktionsmechanischen Überlastung, der die notwendige Erholung durch Ruhe, Ausgleich und Entspannung vorenthalten ist". Sie werden nach *Schinz* und *Brandenberger* verursacht durch „ständig oder periodisch wiederkehrende Beanspruchungen, wobei dieselbe Beanspruchung kurzfristig wirkend oder einmalig auftretend, bzw. nur wenige Male sich wiederholend, nie einen Bruch des Knochens zu erzeugen vermöchte".

Für solche Veränderungen werden auch die aus der Technik entlehnten Ausdrücke „Dauerbruch" und „Ermüdungsbruch" gebraucht, sowie die Bezeichnungen „chronische Fraktur", „schleichende Fraktur" oder „Erschöpfungsbruch". Zwischen dem Dauerbruch beim technischen Material und dem Überlastungsschaden am menschlichen Skelett besteht aber nur eine teilweise Übereinstimmung, indem das lebende Gewebe neben den Gesetzen der technischen Materialien auch denjenigen der Biologie unterstellt ist. *Baumann* zieht aus diesem Grunde die Bezeichnung „Erschöpfungsbruch" vor, um die Erscheinung am lebenden Gewebe von den Begriffen „Dauerbruch" und „Ermüdungsbruch", die der Techniker für sein Gebiet in Anspruch genommen hat, deutlich zu trennen. Auch der Begriff „Umbauzone" (*Looser*) gehört hieher. Ein prinzipieller Unter-

schied besteht nach *W. Müller* und nach *Werthmann* zwischen Umbauzonen und Überlastungsschäden nicht. Bei den sogenannten Umbauzonen sind nach *W. Müller* allerdings, ausser bestimmten mechanischen Beanspruchungen, auch pathologische Zustände der Knochen (träge Knochenapposition, mangelnde Verkalkung usw.) mitbeteiligt. Umbauzonen wurden besonders bei Rachitis und Osteomalazie beobachtet.

Die ursprüngliche, von *Meyer-Burgdorff* konzipierte Idee der Entstehung eines Überlastungsschadens an den Zwischengelenkstücken war etwa folgende: Die Interartikularportion wird unter bestimmten Voraussetzungen durch die darüber- und darunterliegenden Gelenkfortsätze der benachbarten Wirbel scherenartig gefasst und allmählich im Laufe von Monaten und Jahren umgebaut. Vermehrte Lendenlordose und entsprechende Lage der Gelenkfortsätze begünstigen den Vorgang. Der Autor belegte seine Theorie mit einer Anzahl Beobachtungen von Spondylolisthesen, die alle unter ungünstigen Belastungsverhältnissen standen, indem die Lendenwirbelsäulen infolge Brustkyphosen-, Spondylitiden, alten Wirbelverletzungen oder Hüftgelenkkontrakturen vermehrte Lordosen aufwiesen. Dieser Auffassung wurde entgegengehalten, dass die anatomischen Vorbedingungen für eine scherenartige Wirkung der benachbarten Gelenkfortsätze gar nicht vorlägen und dass der Bau der Zwischengelenkstücke viel kräftiger sei als derjenige der Gelenkfortsätze und somit eher ein Abschliff der Gelenkfortsätze als ein Umbau der Interartikularportionen zu erwarten wäre. Mit diesem Einwand wird jedoch die Grundidee, dass die Spondylolyse und in der Folge auch die Spondylolisthesis als Überlastungsschäden aufzufassen sind, nicht erschüttert, denn, wie *Meyer-Burgdorff* selber schreibt, „kann nicht genug betont werden, dass zur Bildung des Spaltes die direkte meissel- oder keilartige Wirkung der Gelenkfortsätze auf den Bogen gar nicht nötig ist. Es genügen schon Kräfte,

die in querer Richtung zur Interartikularportion abscherend wirken. Die vermehrte Lendenlordose sowie die stärkere Belastung durch Körpergewicht und Beruf geben dafür günstige Vorbedingungen ab."

Übermässiges Körpergewicht, Schwangerschaft, Mehrbelastung durch Beruf und Sport und gewisse Lebensweisen stellen Noxen dar, die zu einer vermehrten Inanspruchnahme der Lendenwirbelsäule führen können. Aber auch schon im Ruhezustand steht beim Lebenden die Wirbelsäule durch die Wirkung der Rumpfmuskulatur unter einem ständigen erheblichen Längsdruck. Bei Körpertätigkeit wird dieser Druck verstärkt. Die Grössenordnung der hier wirkenden Kräfte geht daraus hervor, dass sehr heftige Muskeltätigkeit, beispielsweise bei Tetanus, bei Eklampsie oder beim Elektroschock, Wirbelkompressionsfrakturen erzeugen können. Bei Körpertätigkeit ist eine sehr grosse Kraftentfaltung besonders auch deshalb erforderlich, weil die Rückenmuskulatur (Erector trunci) über sehr kurze Hebelarme an der Wirbelsäule angreift. Beim Heben einer Last entsteht in der Wirbelsäule eine Druckwirkung, welche nach dem Prinzip der Dezimalwaagen das Gewicht der aufgehobenen Last um ein Mehrfaches übertrifft (*Reischauer*). Dies gilt in stärkstem Masse für die Lendenwirbelsäule, weil hier der Kraftarm durch die obere Rumpflänge stark verlängert ist [1].

Für die besonders grosse Beanspruchung der unteren Lendenwirbelsäule sind aber noch spezielle anatomische und funktionelle Gegebenheiten massgebend, und es können ausserdem gewisse pathologische Zustände zu einer erheblichen Mehrbelastung Anlass geben.

---

1) Nach einer Berechnung von *Wyss* treten im Bereich der Bandscheibe L 5/S 1 bei üblichem Gebrauch und unter Berücksichtigung des Eigengewichtes Druckkräfte zwischen ca. 100 und 250 kg auf. Daraus ergibt sich eine Schubkraft von 50 bis 125 kg. In Sonderfällen können aber wesentlich höhere Kräfte zur Wirkung kommen.

Die Lendenkreuzbeinregion ist — eine dem Menschen allein zukommende Eigentümlichkeit — durch eine Abknickung der Wirbelsäule gekennzeichnet. Ein Mass für die grossen individuellen Schwankungen unterworfene Abknickung ist der Lumbosakralwinkel, der nach *Junghanns* als der nach hinten offene stumpfe Winkel definiert wird, den die verlängerten Längsachsen der Wirbelkörper von L_5 und S_1 miteinander bilden.

Bei Ausmessungen an 60 im Stehen aufgenommenen Röntgenbildern haben wir für diesen Winkel einen Mittelwert von 139 ° gefunden, bei Schwankungen zwischen 125 ° und 152 °. *Junghanns* ermittelte Werte von 143 ° (123 ° - 164 °) und *Burckhardt* solche von 140 ° (130 ° - 165 °).

Es lässt sich nicht ohne weiteres beurteilen, ob das Ausmass der Knickung mit der Entstehung von Spondylolysen in einem direkten Zusammenhang steht. Bei 13 eigenen Beobachtungen von geringgradigem Wirbelgleiten haben wir jedenfalls Lumbosakralwinkel gemessen, die den Rahmen der Normalwerte nicht überschreiten. Eine Winkelzunahme bei stärkeren Graden von Wirbelgleiten (*Junghanns, Burckhardt*) ist der Ausdruck einer sekundären Anpassung und kommt dadurch zustande, dass der Spondylolisthesisträger zum Ausgleich der verlorengegangenen Stabilität in der Lumbosakralregion das Becken um eine quere Achse nach vorne aufdreht und damit versucht, den abgeglittenen Wirbel besser zu unterstützen.

Die Abknickung der Wirbelsäule am lumbosakralen Übergang führt dazu, dass die über der Knickstelle gelegenen Lendenwirbel nicht mehr aufrecht stehen, sondern mehr oder weniger stark vornübergeneigt sind. Ihre Unterlage ist die durch die Deckplatte des Kreuzbeins (Facies cranialis sacri) gebildete schiefe Ebene. Die Wirbel haben die Tendenz, auf dieser schiefen Ebene nach vorne und unten abzugleiten. Je stärker die Ebene geneigt ist, desto grösser wird die Rutsch-

tendenz der Wirbel. Den Zwischenwirbelscheiben und den ineinander verhakten Wirbelbogen fällt nun die Aufgabe zu, ein Abrutschen der Wirbel zu verhindern. Dazu müssen diese Gebilde grossen Schubkräften Widerstand leisten und sind der Gefahr einer übermässigen Beanspruchung ständig ausgesetzt (vergl. Abb. 8).

Die Neigung der sakralen Deckplatte ist sehr grossen individuellen Schwankungen unterworfen. Wir haben bei 60 im Stehen aufgenommenen Röntgenbildern Werte zwischen 15 ° und 65 ° messen können. Durchschnittlich bildete die Deckplatte mit der Horizontalen einen Winkel von 40 °. Unter gewissen pathologischen Bedingungen wird die Neigung der Deckplatte des Kreuzbeins und damit auch die Überlastungsgefahr im unteren Lendenabschnitt besonders gross. Das ist im allgemeinen bei allen denjenigen Leiden der Fall, die mit vermehrter Lordose der unteren Lendenwirbelsäule einherzugehen pflegen. *Meyer-Burgdorff* hat zahlreiche Spondylolisthesen bei Hyperlordose der Lendenwirbelsäule (besonders nach Wirbelverletzungen an der unteren Brust- und oberen Lendenwirbelsäule) festgestellt. Hierher gehört auch unsere Beobachtung von Wirbelgleiten L_5 und Spondylolyse L_4 bei einem jungen Mann mit angeborener doppelseitiger Hüftgelenkluxation (Abb. 9). Die Verhältnisse sind in diesem Beispiel sehr drastisch, indem die Deckplatte des Sakrums praktisch vertikal steht und die Lendenwirbelsäule am Kreuzbein hängt, anstatt auf ihm zu ruhen [1].

---

1) Diese Beobachtung schwächt übrigens ein Argument, das *Lange* gegen die trophostatische Entstehung der Zwischengelenkstückspalten anführt. Es heisst bei *Lange* wörtlich: „Ausserdem spricht gegen die trophostatische Entstehung, dass zum Beispiel bei alten Hüftluxationen mit starker Lordose, bei denen die Überlastungsbedingungen für die Entstehung von Umbauzonen besonders günstig wären, überhaupt keine Spondylolisthesis bisher beobachtet wurde. Gerade ein solches Beispiel wird aber mit Abbildung 9 gegeben.

Abbildung 9.

24jähriger Mann mit doppelseitiger kongenitaler Hüftgelenkluxation und konsekutiver fixierter Beugestellung beider Hüftgelenke. Spondylolyse L_4 und Spondylolisthesis L_5. Die als Luxationsfolge aufgetretene starke Vornüberneigung des Beckens (Drehung um eine quere Achse) wird durch eine übermässige Lordosierung der Lendenwirbelsäule kompensiert. Beim stehenden Patienten stellt sich die sakrale Deckplatte fast lotrecht ein. Die untersten Lendenwirbel sind einer ossären Unterstützung total beraubt, statt dessen hängt die ganze Wirbelsäule an den untersten Bandscheiben und Wirbelbogen.

Man geht kaum fehl, wenn man die an den beiden untersten Lendenwirbeln vorhandenen Spondylolysen als Überlastungsschäden betrachtet, die als Folge des ungewöhnlichen und übermässigen Leistungsanspruches aufgetreten sind.

Bei den eigenen 13 Beobachtungen von geringgradigem Wirbelgleiten des vierten oder fünften Lendenwirbels betrug der Neigungswinkel der sakralen Deckplatte im Mittel 46 °. Er war somit etwas grösser als durchschnittlich bei normalen Wirbelsäulen. Bei der kleinen Zahl der Beobachtungen sind jedoch Rückschlüsse auf einen ursächlichen Zusammenhang nicht gestattet, zumal die Abweichungen vom Mittelwert schon physiologischerweise recht beträchtlich sein können.

In Fällen von stärkerem Gleiten ist durch die kompensierende Aufdrehung des Beckens um seine quere Achse wieder mit einer Verringerung des Winkels, d. h. mit einer Annäherung der sakralen Deckplatte an die Horizontale zu rechnen (Vgl. S. 36).

Wir glauben, dass die Beachtung der Neigung der sakralen Deckplatte auch in praxi einen wertvollen Anhaltspunkt für die an den untersten Lendenwirbeln und Bandscheiben vorliegende Überlastungsgefahr abgibt. Die Winkel können ja am seitlichen Röntgenbild, sofern dies im Stehen aufgenommen worden ist, direkt abgelesen werden. Bei stark geneigten Deckplatten wird man immer eine erhöhte Inanspruchnahme der Disken und der Wirbelbogen in der Lumbosakralregion annehmen müssen.

Unter den funktionellen Eigenheiten der Lenden-Kreuzbeingegend ist besonders die grosse Beweglichkeit zu nennen, die den Übergang vom relativ starren Beckengürtel zur frei beweglichen Wirbelsäule kennzeichnet. Nach *De Sèze* finden zwischen dem fünften Lendenwirbel und dem Sakrum besonders Beuge- und Streckbewegungen statt, während im nächsthöheren Bewegungssegment L_4/L_5 Seitenbewegungen und Torsionen vorwiegen. Durch die starken Bewegungen in diesem Abschnitt und die damit verbundenen Abscherkräfte werden Wirbelbogen und Zwischenwirbelscheiben noch vermehrt in Anspruch genommen.

Die an den Bandscheiben infolge der andauernden starken Inanspruchnahme auftretenden Abnützungserscheinungen und Alterungsprozesse sind gut bekannt. Schon im jugendlichen Alter werden Degenerationserscheinungen an den Disken sehr häufig beobachtet (*Bradford* und *Spurling, Junghanns, Reischauer, Zuckschwerdt, Schmorl, De Sèze* u. a.). Die ersten Schädigungen und die schwersten Veränderungen treten dabei meist an den beiden untersten Bandscheiben der Lendenwirbelsäule auf. *De Sèze* schreibt in bezug auf diese beiden Zwischenwirbelscheiben: „Le disque vieillit plus tôt que l'homme." Der pathologische Prozess besteht zur Hauptsache in kolloidalen Zustandsänderungen, in Turgorverlust des Gallertkernes und häufig in kleineren oder grösseren Rissbildungen im Diskus, oft einschliesslich des Faserringes. Dabei tritt eine Lockerung des ganzen Gefüges ein. Der degenerative Prozess wird jedoch allmählich durch Regenerationsvorgänge abgelöst, wobei durch Osteophytenwachstum wieder eine erhöhte Stabilität erreicht werden kann, allerdings unter Verlust der normalen Beweglichkeit *(Reischauer)* und der Pufferwirkung sowie unter gleichzeitiger Erwerbung einer vermehrten Verletzlichkeit.

Es gibt also im Laufe der an den Bandscheiben vorkommenden Umwandlungen eine zeitlich unscharf begrenzte, sich wohl meist über Jahre hinziehende Phase der Auflockerung des Gefüges, die, nach unseren im Experiment gewonnenen Erfahrungen, für den Wirbelbogen eine Phase der vermehrten Inanspruchnahme und erhöhten Gefährdung darstellen muss. An den Wirbelbogen und insbesondere an den Zwischengelenkstücken können sich nun starke Schubkräfte unbehindert auswirken (Vgl. S. 27 und Abb. 8). Es erscheint uns nicht nur denkbar, sondern sehr wahrscheinlich, dass damit das Auftreten von Erschöpfungszuständen am Wirbelbogen gefördert wird, dass sich Umbauvorgänge einstellen und dass durch einen

„Restbruch" eine vollständige Durchtrennung stattfinden kann. Die Entstehung solcher Restbrüche ist von den auf Seite 17 angeführten Autoren *Turner* und *Markellow* sowie *Azéma* im Experiment nachgeahmt worden.

Bei der Entstehung des Wirbelgleitens sind also wichtige Beziehungen zwischen Diskus und Bogenspalte anzunehmen. Diese können einerseits darin bestehen, dass beim Vorliegen eines Bogendefektes die Bandscheibe vermehrten Zerrungen ausgesetzt ist, dabei zermürbt wird und so das Ingangkommen des Gleitprozesses ermöglicht. Andererseits ist der umgekehrte Vorgang möglich und vielleicht sogar noch wichtiger, dass nämlich zunächst eine Bandscheibenauflockerung auftritt, die dann der Entstehung eines Überlastungsschadens am Wirbelbogen, im Sinne einer Spondylolyse, Vorschub leistet.

Wenn sich einmal ein Erschöpfungsbruch eingestellt hat und die Belastung fortdauert, so ist eine knöcherne Heilung in Frage gestellt. Die Heilungsaussichten sind dann gleich ungünstig wie bei irgendwelchen anderen Frakturen (beispielsweise Naviculare- oder Tibiafraktur), die nicht genügend fixiert werden und infolgedessen andauernd kleineren oder grösseren Schüben ausgesetzt sind. Es stellen sich Pseudarthrosen ein mit Abdeckelung der Bruchflächen und nur bindegewebiger Überbrückung der Bruchzone. Es resultiert ein Zustand, dem das Bild einer Spondylolyse entspricht.

Auch für den Wirbelbogen muss der allgemein gültige Grundsatz Beachtung finden, dass die Anfälligkeit für Überlastungsschäden proportional der Beanspruchung und umgekehrt proportional der Widerstandskraft der Gewebe ist (*Baumann, Liechti*). Nachdem wir uns mit der Beanspruchung bereits auseinandergesetzt haben, müssen wir unsere Aufmerksamkeit auch noch der Widerstandskraft der Zwischengelenkstücke zuwenden. Die Untersuchung der makroskopischen Knochenstruktur hat ergeben, dass die Zwischengelenkstücke

sehr reich an kompakter Substanz und offenbar sehr kräftig gebaut sind. Man darf aber darin, wie *Reischauer* mit Recht betont, nicht nur den Ausdruck einer besonders grossen Widerstandskraft sehen, sondern ebenso sehr den Ausdruck einer grossen Beanspruchung (phylogenetisch und ontogenetisch). Wir haben denn auch experimentell, allerdings in Form von Gewaltbrüchen, zeigen können, dass es gelingt, gerade vorwiegend an dieser scheinbar so kräftig gebauten Stelle des Wirbelbogens Frakturen zu erzeugen.

Andererseits haben röntgenologische Untersuchungen von *Warner* gezeigt, dass die Zwischengelenkstücke der fünften Lendenwirbel mannigfaltige Unterschiede in Form und Struktur aufweisen können. Während *Warner* in dieser unterschiedlichen Beschaffenheit der Interartikularportionen den Ausdruck einer grossen Variabilität erkennt, führen *Meyer-Burgdorff* und *Reischauer* gleiche und ähnliche Beobachtungen als Beweismaterial für mechanisch verursachte Umbauvorgänge an. Sie sprechen nicht von Variationen, sondern von Auflösungs- und Zerfallsstadien. Ohne auf diese Diskussion weiter einzugehen, kann man annehmen, dass bei solch grossen Unterschieden in Form und Struktur, an deren Vorhandensein nicht gezweifelt werden kann, auch die Widerstandskraft der Zwischengelenkabschnitte gegenüber mechanischen Einflüssen sehr ungleich ist, und dass in manchen Fällen sehr leicht ein Missverhältnis zwischen Leistungsanspruch und Widerstandskraft eintritt. Gewisse schwächliche Zwischengelenkstücke, deren Schwächung anlagegemäss, in Krankheit oder in früher erlittenen Schädigungen begründet sein mag, dürften demnach für das Auftreten von Überlastungserscheinungen besonders prädisponiert sein.

Baumann hat ein Beispiel gegeben von Wirbelgleiten bei einem durch Krankheit geschwächten Wirbelbogen. In seiner Beobachtung handelte es sich um eine klinisch und histologisch sichere Wirbelbogentuberkulose mit Wirbelgleiten am 4. Lendenwirbel. Auffallend war dabei die ausserordentliche Breite

der Bogenlücke. Dieser Wirbel war natürlich mechanisch gar nicht mehr leistungsfähig.

Eine anlagemässige Schwächung eines Wirbelbogens hat *Brocher* postuliert. Er hat dabei angenommen, dass bei der Spondylolyse eine hereditär krankhafte Disposition zum Ausdruck komme, wobei, ähnlich wie bei gewissen heredodegenerativen Erkrankungen des Nervensystems, ein morphologischer Defekt erst nach einer Latenzperiode in Erscheinung tritt. Es scheint uns, dass auch bei dieser Annahme in erster Linie daran gedacht werden muss, dass die krankhaften Veränderungen zu einer Abschwächung der Widerstandsfähigkeit führen und dass der geschwächte Bogen der Belastung nicht mehr gewachsen und besonders leicht erschöpfbar ist. In diesem Sinne glauben wir weniger an Widersprüche der verschiedenen Theorien, sondern sehen in der Entstehung von Spondylolysen ein gleichsinniges Zusammenwirken von erblichen Faktoren mit mechanischer Überlastung. Angeborene Schwäche der Zwischengelenkstücke und hereditäres Vorkommen von Spondylolysen schliessen also eine Entstehung durch chronischen Umbau infolge Überbeanspruchung keineswegs aus. Daneben ist es aber durchaus wahrscheinlich, dass auch normale, nicht dysplastische Wirbelbogen dem an sie gestellten, unter Umständen sehr hohen Leistungsanspruch erliegen können.

Über das Vorkommen von echten Fehlbildungen und angeborenen Bogenfugen gestattet diese Arbeit keine Urteilsbildung.

Zusammenfassung

Kennzeichen der echten Spondylolisthesis sind spaltförmige Defekte in den Zwischengelenkstücken der Wirbelbogen. Die Spalten liegen im vordersten Abschnitt der meist abnorm langen und aufgerichteten Zwischengelenkstücke.

Unsere Präparate bestätigen, dass die Knochenstruktur dieser Bogenabschnitte bei der Spaltbildung umgeformt wird. An Stelle des normalerweise kompakten Knochens tritt Spongiosareichtum und gegen die Spalten deckeln sich die Bogenstücke durch Knochenplatten ab.

Von der klassischen Spondylolisthesis mit Spaltbildung an den Zwischengelenkstücken lassen sich das Wirbelgleiten durch alleinige Verlängerung der Zwischengelenkstücke ohne Spalten sowie die durch Flachstellung der kleinen Wirbelgelenke gekennzeichnete Pseudospondylolisthesis abgrenzen. Verwandtschaftliche Beziehungen sind zwischen diesen drei verschiedenen Formen von Wirbelverschiebungen anzunehmen. Kombiniertes Auftreten kommt vor, wie in einem Beispiel gezeigt wird.

An acht menschlichen Wirbelsäulenpräparaten wurden Belastungsversuche in Form von gewaltsamer Längskompression der Lendenabschnitte vorgenommen. Nach vorangehender Bandscheibendurchtrennung gelang es, an den untersten Lendenwirbelbogen regelmässig Gewaltbrüche zu erzeugen, welche die Zwischengelenkstücke, die Bogenwurzeln oder die Bogenfortsätze durchsetzten. Dabei entstand auch mehrmals experimentelles Wirbelgleiten. Ohne vorangehende Bandscheibendurchtrennung wurden jedoch die Bogen der untersten Lendenwirbel nicht beschädigt, sondern es traten vorwiegend Wirbelkörperbrüche auf.

Bei Längskompression der Lendenwirbelsäule werden die Wirbelbogen auf Schub beansprucht. Die Schubkräfte wirken sich bei Ausfall der Bandscheiben unbehindert aus und haben daher entsprechende Wirkung.

Ein Gewaltbruch kommt als Ursache der echten Spondylolyse nur in Ausnahmefällen in Betracht. Ein Wirbelgleiten kann durch ein Trauma gefördert werden.

Es ist wahrscheinlich, dass an den Interartikularportionen der Lendenwirbelbogen Erschöpfungsbrüche entstehen können.

Die Wirbelsäule steht unter einem ständigen Längsdruck durch die Wirkung der Rumpfmuskulatur. Körpertätigkeit führt zu Verstärkung dieses Druckes. Übermässiges Körpergewicht, Schwangerschaft, schwere Arbeit und Sport haben Mehrbelastung zur Folge. An der unteren Lendenwirbelsäule wirkt sich dabei die grosse Beanspruchung am stärksten aus. Auch die grosse Beweglichkeit an der Grenze zwischen Kreuzbein und Lendenwirbelsäule steigert die Inanspruchnahme dieses Abschnittes.

Grösste Bedeutung ist der Abknickung der Wirbelsäule am lumbosakralen Übergang beizumessen. Der unterste Lendenwirbel erhält dadurch die Tendenz, auf der geneigten Deckplatte des Sakrums abzugleiten. Bandscheibe und Wirbelbogen, denen die Aufgabe zufällt, das Abrutschen des Wirbels zu verhindern, werden dabei durch starke Schübe beansprucht. Die Tendenz zum Abgleiten wächst mit zunehmender Neigung der sakralen Deckplatte.

Die Disken altern häufig und frühzeitig, wodurch ihre Widerstandskraft gegenüber den Schubkräften, welche die oberen Wirbelkörper über die unteren nach vorne schieben, geschwächt wird. Die daraus resultierende Auflockerung des Bewegungssegmentes führt zu einer übermässigen Inanspruchnahme der Wirbelbogen durch Schübe. Bandscheibendegenerationen begünstigen deshalb die Entstehung von Überlastungsschäden an den Wirbelbogen in hohem Masse. Spondylolysen können das Endresultat solcher Überlastungsschäden darstellen.

Andererseits sind anlagemässig schwache oder durch Krankheitszustände in ihrer Widerstandskraft herabgesetzte Wirbelbogen besonders für Erschöpfungsbrüche anfällig. In diesem Sinne können sich erbliche Faktoren mit mechanischer Überlastung kombinieren.

Abbildung 1.

Spondylolisthesis L_5. Sagittalschnitt durch die linke Bogenhälfte.
Spaltförmiger Defekt im vorderen Teil der Interartikularportion. Das verlängerte und flach verlaufende Zwischengelenkstück ist sehr spongiosareich. Der Gegensatz zu den Verhältnissen bei den in Abb. 4 u. 5 dargestellten Interartikularportionen ist auffällig. Abdeckelung gegen die Spalte durch dünne Knochenplatten.

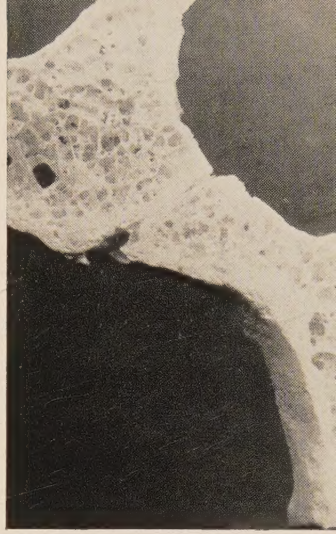

Abbildung 2.

Spondylolisthesis L_5. Ansicht des Wirbels von unten. Asymmetrischer Wirbelbogen mit Dornfortsatzspalte. Die Zwischengelenkstücke sind sehr lang und ausserdem aussergewöhnlich breit. Die linke Interartikularportion ist im vorderen Drittel durch einen spaltförmigen Defekt unterbrochen. Die Ränder der Spondylolyse sind unregelmässig ineinander verzähnelt. Rechts ist keine Spalte vorhanden. Die Gelenkflächen der unteren Gelenkfortsätze sind normal gestellt. Das Beispiel zeigt einen asymmetrischen Gleitwirbel mit Elongation beider Zwischengelenkstücke und Spondylolyse links im Verein mit einer Dornfortsatzspalte.

Kombination zwischen klassischer Spondylolisthesis mit Spalte und Wirbelgleiten durch Elongation der Zwischengelenkstücke ohne Spondylolyse, d. h. ohne Spalte.

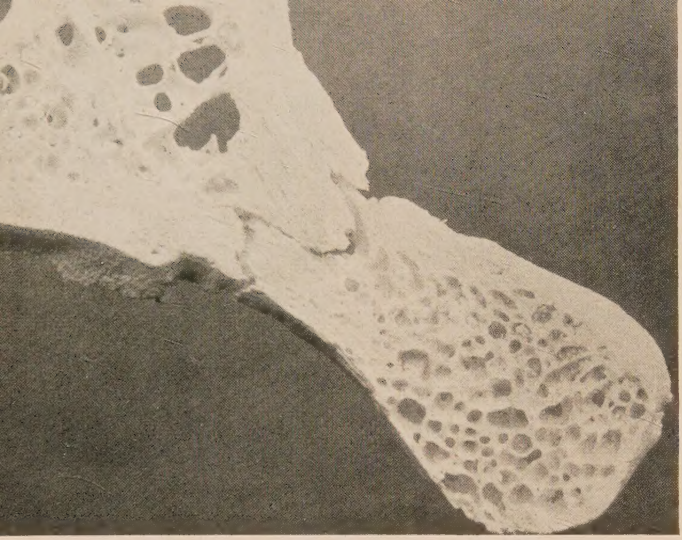

Abbildung 4.

Versuch I. Experimenteller Gewaltbruch am 4. Lendenwirbelbogen, l. Seite. Die Frakturlinie geht in zackigem Verlauf mitten durch das kompaktareiche Zwischengelenkstück hindurch.

Abbildung 5.

Versuch III. Rechte Seite des 5. Lendenwirbelbogens. Gewaltbruch quer durch das Zwischengelenkstück, etwas hinter der Mitte, gegen den unteren Gelenkfortsatz zu. Eine zweite Fraktur hat den Bogen in der Bogenwurzel vom Körper abgetrennt.

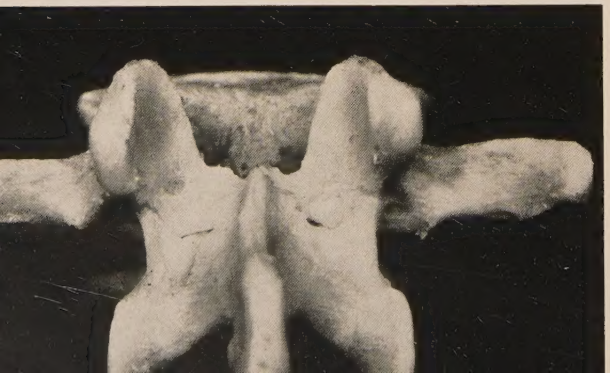

Abbildung 7.

Versuch V. Ansicht des 4. Lendenwirbels von hinten. Der Bruchlinienverlauf durch die Zwischengelenkstücke lässt sich deutlich verfolgen.